

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА ТРЕХМЕРНОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Тябин М.В., Проданов М.Е.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Введение

Любой новый проект начинается с идеи. На пути ее воплощения в готовое изделие лежит множество этапов, преодоление которых может занять столько времени, что идея потеряет свою актуальность. Моральное устаревание происходит очень быстро в наше время. Для сокращения сроков проектирования и подготовки производства на помощь дизайнеру приходят современные системы проектирования, использующие трехмерное (3D) моделирование – CAD/CAM системы (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing).

CAD/CAM системы разделяют на три класса [1]. «Легкий» класс объединяет системы плоского черчения, трехмерные возможности которых являются лишь приложением, и с трудом позволяют воспроизводить сложные формы. К таким системам относятся AutoCAD, ADEM, Компас.

«Тяжелые» системы предназначены для решения широкого круга задач при проектировании и подготовке производства. Кроме мощных инструментов трехмерного и поверхностного моделирования, объемной сборки и черчения, у них имеются богатые средства для разработки оснастки, процессов обработки материала, программ для станков с ЧПУ, и т.п. В них в полной мере реализуется интегрированность на всех этапах проектирования и производства, т.е. исключается необходимость использования промежуточных этапов передачи данных модели в технологические или расчетные модули. Естественно «тяжелые» CAD/CAM системы требуют больших ресурсов от компьютерной техники. Поэтому они зачастую устанавливаются на мощные рабочие станции под ОС Windows NT или UNIX. Среди «тяжелых» систем наиболее известны UNIGRAPHICS, CATIA, CADS 5, Pro-Engineer, Cimatron[®].

Золотой серединой являются такие CAD/CAM системы, как SolidWorks, SolidEdge, Mechanical Desktop, Cimatron Elite. Они относятся к «среднему» классу CAD/CAM систем. Унаследовав от «тяжелой» категории возможности моделирования, сборки и черчения, они утратили большую часть технологических приложений. Таким образом, значительно снизилась стоимость систем и их потребности в мощной технике. Действительно, конструктору-дизайнеру не нужны, например, средства моделирования 2,5–5 координатной обработки на фрезерном станке. К тому

же меньшая стоимость «средних» систем позволяет увеличить число рабочих мест конструктора.

Основой для разработки проекта в них является модель создаваемого изделия. С ее помощью конструктор может оценить «наглядно» качество своих решений, проработать компоновку и конструктивные элементы. Используя форму модели, система может генерировать, например, детали прессформ для отливки деталей из пластмасс или развертки гнутой детали из листового материала. Кроме того, по трехмерной модели проще разрабатывать рабочие чертежи с видами и разрезами. Очевидно, что моделирование является своеобразным «двигателем» системы проектирования.

Трехмерное моделирование

Форму изделия можно воспроизвести тремя способами [2]. В первом случае можно построить каркас из линий (wireframe) вдоль ребер объекта моделирования. Во втором форму можно собрать из поверхностей (surfaces), закрыв ими некоторый объем. И, наконец, с помощью твердых тел (solid) – ограниченной области пространства в среде моделирования. Твердое тело также имеет поверхности, но, в отличие от поверхностной модели, система может точно определить, находится ли точка пространства внутри твердого тела или нет.

Твердотельное моделирование

В современных CAD/CAM системах «тяжелого» или «среднего» класса при проектировании большинства изделий используется параметрическое твердотельное моделирование. Размеры элементов модели представляют собой переменную величину в системе и имеют каждый индивидуальное имя, т.е. являются параметрами. Дизайнер может по своему усмотрению легко изменять значения параметров или назначать им формулы отношения с другими размерами. Таким образом, обеспечивается изменчивость форм объектов. Это дает возможность, например, создания серии однотипных моделей или проверки собираемости изделия при изготовлении деталей с определенным допуском на размер.

Построение модели происходит следующим образом. Создается базовое твердое тело, являющееся основой формы изделия. Далее путем добавления или удаления «материала» воспроизводится остальная часть формы. Полученное таким образом твердое тело называют объектом (object), а его положительные и отрицательные составляющие – компонентами (features).

В основе большинства твердотельных компонентов лежит скетч (sketch) или эскиз. Скетч является основным параметрическим элементом твердотельного моделирования. Он представляет собой в идеале замкнутый контур, состоящий из линий, дуг, сплайнов, и содержит основную часть параметрических размеров компонента. (Строго говоря, скетч может и не быть замкнутым. Важно чтобы он однозначно определял направление добавления или удаления «материала».) Положительные, либо отрицательные компоненты получают путем выдавливания (extrude), вращения (revolve), движения по направляющей (sweep, drive) скетча. (При выполнении движения по направляющей траекторией также может являться скетч.)

Чтобы скетч мог быть регенерирован системой при изменении параметров, он должен быть полностью образмерен. В идеальном случае требуется задать координаты всех узлов скетча. Но тогда потребуется проставить слишком много размеров. Значительно сократить количество параметров позволяют связи, накладываемые на элементы скетча (constrains). Такими связями могут быть, например:

- вертикальность/ горизонтальность линий,
- перпендикулярность/ параллельность линий,
- соосность дуг или окружностей,
- равенство радиусов дуг или окружностей,
- тангенциальность кривых (касательные).

Элементы скетча могут быть также привязаны к узлам и линиям построенных компонентов. Кромки выбираются в качестве справочных элементов (reference entities).

Совокупность связей и параметрических размеров позволяет системе перестраивать скетч и созданный с его помощью компонент в соответствии с изменяющимися параметрами, сохраняя при этом общую форму.

Многие системы предоставляют пользователю удобные средства построения и редактирования скетчей. Например, система Cimatron^{it} содержит встроенный модуль для таких целей.

Для моделирования более или менее сложных деталей не обойтись без дополнительных построений. Поэтому в современных CAD/CAM системах существует возможность использовать вспомогательные элементы, такие как плоскости, оси, точки, кривые. Плоскости используются для построения скетчей, обрезания объектов и т.п., а оси – для создания твердотельных компонентов вращения, отверстий и т.д. Кроме того, вспомогательными элементами могут служить плоские поверхности и прямые кромки соседних компонентов.

Построить твердотельные компоненты выдавливания или вращения можно несколькими способами:

- на заданное расстояние от плоскости построения скетча в ту или другую сторону, либо в обе стороны симметрично (для выдавливания),
- на заданный угол от плоскости построения скетча в ту или другую сторону, либо в обе стороны симметрично (для вращения),
- от одной плоскости или поверхности до другой плоскости или поверхности.

В различных CAD/CAM системах существуют вариации этих способов, например, на заданное расстояние от поверхности другого компонента вне плоскости построения скетча.

Кинематические компоненты (т.е. образованные движением сечения по направляющей) создаются по-разному, в зависимости от системы. В простейшем случае используется одна направляющая и одно сечение. В более сложных системах возможны и другие варианты построения, например, с использованием нескольких траекторий или нескольких сечений.

Кроме основных компонентов, созданных при помощи скетчей, в CAD системах существует набор дополнительных компонентов, построение которых автоматизировано в большей степени. Они являются производными от основных. Если рассмотреть, например, отверстия (hole), то прямые отверстия строятся выдавливанием, а имеющие более сложную форму (фасонные) – вращением. Дополнительными компонентами являются также фаски (chamfer) и скругления (round), создаваемые движением соответствующих сечений вдоль кромки объекта.

Для моделирования корпусных деталей предназначен компонент оболочка (shell). Без него не обходится ни одна современная CAD/CAM система.

Если модель имеет несколько твердотельных объектов, то между ними возможны булевы операции – объединения, вычитания, пересечения. Эти операции также будут являться компонентами.

Некоторые системы позволяют создавать также другие дополнительные компоненты, например, ребра жесткости или бобышки.

Иногда возникает необходимость создания упорядоченной последовательности одинаковых компонентов, таких как ряд отверстий по периметру детали или зубцов в зубчатом колесе. Для этого системы имеют функции равномерного копирования компонентов по прямоугольной сетке или по окружности. Массив копий также будет являться отдельным компонентом, параметрами которого яв-

ляются опции копирования, а не размеры родительского компонента.

Важное значение имеет последовательность построения компонентов модели. Каждый новый компонент может строиться с использованием элементов предыдущих. Таким образом, информацию о компонентах и их связях можно представить в виде древовидной структуры. Многие CAD/CAM системы содержат специальное окно (Desktop Browser, Feature Manager), позволяющее просматривать эту информацию и изменять, где необходимо и где возможно, последовательность элементов. Так в середину списка можно вставить новые компоненты или удалить ранее построенные.

Визуализация

Посмотреть, как будет выглядеть будущее изделие можно уже на этапе моделирования. Чтобы увидеть деталь в объеме, используется полутоновая визуализация. С помощью установок цвета, отражающей способности, прозрачности, можно добиться изображения модели как изделия из пластмассы, стали, бронзы, стекла. Некоторые методы просмотра позволяют изменять освещение, осмотреть изделие со всех сторон и даже заглянуть внутрь.

Сборка

При проектировании сложных сборок возникает необходимость оценки соединения деталей и проверки размерных цепей. Все современные CAD/CAM системы дают возможность конструктору собрать модель целого изделия из моделей деталей, которые могут быть изготовлены с различными значениями допуска. Если вдруг окажется, что при определенных условиях изделие не собирается должным образом, инженер имеет возможность подправить ту или иную деталь для доводки параметров изделия.

Сборка деталей может выполняться либо совмещением их систем координат, либо наложением связей (constraints). Такими связями могут быть, например, соосность цилиндрических или конических поверхностей соединяемых деталей, совпадение плоскостей, совпадение точек. Тогда сборка производится последовательным наложением связей до полного ограничения всех степеней свободы добавляемой детали.

Чертежи

Современные системы проектирования позволяют выпускать изделия без создания рабочих чертежей. Но все-таки чертеж – это документ. Поэтому обойтись без него пока нельзя.

Создать чертеж на базе трехмерной модели не составляет большого труда. К тому же такие чертежи являются ассоциативными, т.е. автоматически изменяются вслед за изменением модели.

Файл модели может содержать несколько листов чертежей со вставленными в них видами и разрезами. Видами, в свою очередь, бывают любые проекции модели, в том числе и аксонометрические. Создать разрез позволяют только твердотельные модели, поскольку система в этом случае точно определяет, какие точки принадлежат детали, а какие нет. Лист чертежа komponуется из главных видов, созданных непосредственно в пространстве листа, или из заранее подготовленных. В последнем случае каждый вид редактируется индивидуально, на нем проставляются размеры, допуски, шероховатости, а затем размещают на листе.

Проектирование деталей ГТД

Газотурбинный двигатель как объект проектирования имеет ряд особенностей. Его основные детали имеют форму тел вращения – валы, диски, корпуса. Т.е. для представления их формы достаточно плоского изображения контура сечения, или двухмерной модели. Компонировка нового изделия из трехмерных моделей деталей проще всего реализуется в проекции на плоскость. В данном случае более оправдано использование плоских моделей. Кроме того, для компоновки целого узла двигателя недостаточно экрана компьютера, требуется большой лист, где можно размещать объекты в натуральную величину, а также создавать эскизы вручную.

При создании трехмерных моделей могут быть использованы наработанные двумерные модели или чертежи. Контур детали легко преобразовать в трехмерную модель вращением. Один из примеров создания такой модели показан на рисунке.

Кроме деталей вращения существуют семейства достаточно сложных деталей проточной части двигателя – рабочие лопатки, сопловые и направляющие аппараты. Трехмерная проработка этих объектов неизбежна. В этом случае использование аппарата трехмерного моделирования является очень эффективным. Наличие сложных поверхностей наряду с твердотельным моделированием может потребовать использования функций каркасно-поверхностного моделирования.

Наиболее приемлемо использование твердотельных моделей при проектировании деталей, получаемых литьем или штамповкой, для которых требуется разработка формообразующей оснастки. Именно в проектировании оснастки, процессов обработки на станках с ЧПУ и др. реализуются основные достоинства CAD/CAM систем. Становится возможным создание отраслевых библиотек стандартных деталей, инструментов и т.д.

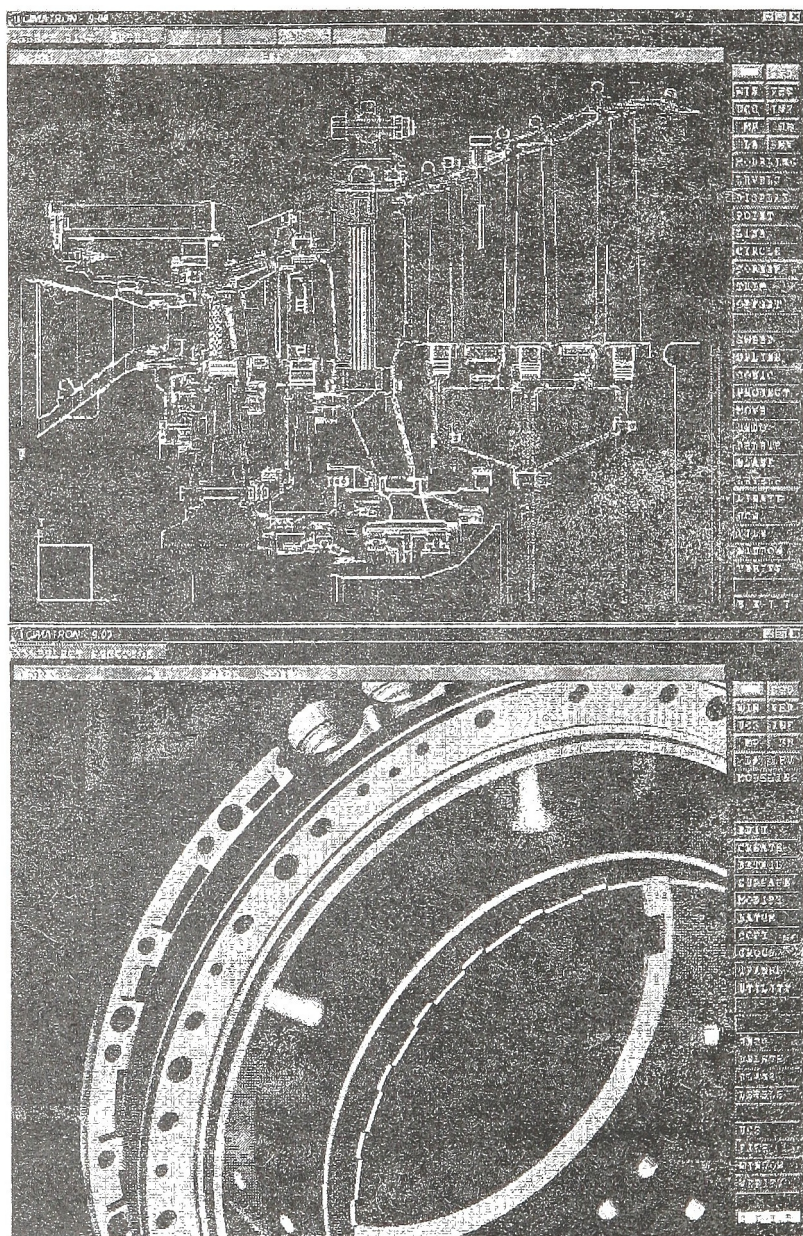


Рисунок 1 Двухмерный контур детали на чертеже и доведенная твердотельная модель.

Заключение

Взаимодействие конструкторских и технологических отделов предприятия, для обмена информацией об изделии, может осуществляться с использованием объемных моделей деталей. Это позволяет, получить полное и быстрое представление о форме детали и дает возможность начать разработку оснастки для изготовления деталей не дожидаясь оформления и утверждения чертежей.

Конструкторская проработка будущего изделия является только частью подготовки производства. Не менее (а по затратам времени даже более) значительной является технологическая проработка. Конструктору необходимо помнить, что одним из главных факторов повышения конкурентоспособности продукции является технологичность изделия. Достигнуть нужных показателей позволяет разработка множества вариантов, полученных простыми и эффективными средствами. Следовательно, выбор CAD/CAM системы для использования зависит от того, как эффективно реализовано в них трехмерное моделирование.

Список литературы

1. Пиликов Н.А., Юсупов Р.М., MCAD системы – разумная перспектива современности. RM-MAGAZINE, №№ 2,3/1998.
2. Хокс Б. Автоматизированное проектирование и производство: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 296 с., ил.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛОПАТОК ОСЕВЫХ ТУРБОМАШИН

Аронов Б.М., Керженков А.Г.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Более 25 лет в Самарском государственном аэрокосмическом университете (СГАУ) в тесном содружестве с двигателестроительными предприятиями России ведется разработка систем автоматизированного проектирования и производства лопаток осевых турбомашин. За эти годы разработано большое количество систем проектирования лопаток практически всех видов - компрессорных и турбинных, бандажированных и бесполочных, неподвижных, вращающихся и поворотных, а также заготовок